



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 39 980 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
**H 01 S 3/093**  
H 01 S 3/0941  
B 23 K 26/36

②① Aktenzeichen: 101 39 980.4  
②② Anmeldetag: 21. 8. 2001  
④③ Offenlegungstag: 13. 3. 2003

DE 101 39 980 A 1

⑦① Anmelder:  
FOBA GmbH Elektronik + Lasersysteme, 58513  
Lüdenscheid, DE

⑦④ Vertreter:  
Patentanwälte Ostriga, Sonnet & Wirths, 42275  
Wuppertal

⑦② Erfinder:  
Golla, Dirk, 58515 Lüdenscheid, DE

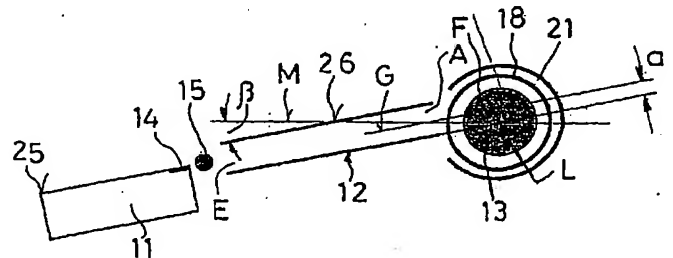
⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 55 72 541 A  
EP 08 67 988 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Vorrichtung zur Bearbeitung, insbesondere zur Gravur, Markierung oder Beschriftung eines Materials mittels eines Lasers

⑤⑦ Beschrieben und dargestellt ist eine Vorrichtung (10) zur Bearbeitung, insbesondere zur Gravur, Markierung oder Beschriftung, eines Materials mittels eines Lasers, bei der ein Festkörper-Laserstab (13) unter Bereitstellung einer transversalen Pumpgeometrie von wenigstens einem Diodenlaser (11) optisch angeregt wird. Die Besonderheit besteht darin, daß das von dem Diodenlaser (11) emittierte Pumplicht dem Laserstab (13) im wesentlichen entlang einer Geraden (G) zugeführt wird, die eine Querschnittsfläche des Laserstabes (13) schneidet und von einer Längsmittelachse (L) des Laserstabes (13) beabstandet verläuft.



DE 101 39 980 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Bearbeitung, insbesondere zur Gravur, Markierung oder Beschriftung eines Materials mittels eines Lasers gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

[0002] Vorrichtungen zur Bearbeitung eines Materials mittels eines Lasers erfordern sehr hohe Laserleistungen, um die gewünschten Arbeitsschritte zufriedenstellend durchführen zu können. Hierbei spielt neben einer möglichst großen Laserleistung auch die Strahlqualität eine bedeutende Rolle, um so unterschiedliche Materialien wie Kunststoff oder Metall mit hinreichender Genauigkeit, auch mit einer möglichst hohen Arbeitsgeschwindigkeit bearbeiten zu können.

[0003] Vorrichtungen gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sind bekannt und weit verbreitet. Im Unterschied zu sogenannten endgepumpten Geometrien, bei denen das Pumplicht im wesentlichen entlang der Längsmittelachse des Laserstabes, also vom einen Laserstabende her, dem Laserstab zugeführt wird, betrifft die vorliegende Vorrichtung eine Anordnung mit einer sogenannten transversalen Pumpgeometrie, bei der das Pumplicht von einem oder von einer Vielzahl von Diodenlasern im wesentlichen senkrecht zur Längsachse des Laserstabes dem anzuregenden Laserstab zugeführt wird. Selbstverständlich ist es gegebenenfalls auch möglich, das Licht von den Diodenlasern unter einem Winkel zu der Längsachse des Laserstabes dem Laserstab zuzuführen.

[0004] Der Beitrag "300-W cw diode-laser side pumped Nd: YAG rod laser" von D. Golla, S. Knoke, W. Schöbe, G. Ernst, M. Bode, A. Tünnermann, H. Welling, May 15, 1995 / Vol. 20, No. 10, OPTICS LETTERS beschreibt bereits einen transversal gepumpten Laser, bei dem die Pumplichtverteilung des von den Diodenlasern ausgesandten und in der kreisförmigen Querschnittsfläche des Laserstabes einwirkenden Lichtes berechnet und gemessen worden ist. Wie sich dort aus den Fig. 2a und b ergibt, kommt es hier zu einer Intensitäts-Maximum-Bildung im Bereich der Mittel-Längsachse des Laserstabes. Eine derartige Pumplichtverteilung beeinflusst auf Grund einer bestimmten Temperaturverteilung entlang der Querschnittsfläche des Laserstabes die Verteilung des aus dem Laserstab austretenden Laserlichts nachteilig.

[0005] Aus dem Aufsatz "62-W cw TEM<sub>00</sub> ND: YAG laser side pumped by fiber-coupled diode lasers" von D. Golla, M. Bode, S. Knoke, W. Schöbe und A. Tünnermann, February 1, 1996 / Vol. 21, No. 3 / OPTICS LETTERS ist eine transversale Pumpgeometrie zur Anregung eines Laserstabes bekannt, die bereits eine gute Pumplichtverteilung erreicht. Hier werden jedoch fasergekoppelte Diodenlaser verwendet, die eine aufwendige, angepaßte Optik zwischen dem Diodenlaser und der Faser aufweisen, so daß die dort beschriebene Anordnung insgesamt sehr kostenaufwendig ist. Außerdem kommt es mit der beschriebenen Anordnung zu Justierungs- und Toleranzproblemen in der Fertigung.

[0006] Eine weitere Anordnung einer transversalen Pumpgeometrie zur Anregung eines Festkörper-Laserstabes ist in der US 5572541 beschrieben. Auch hier kommt es zu einer inhomogenen Verteilung der eingestrahlten Pumplichtleistung bei Betrachtung des Querschnittes des anzuregenden Laserstabes.

[0007] Ausgehend von dem eingangs genannten Stand der Technik besteht die Aufgabe der Erfindung darin, eine höhere, insbesondere homogenere Lichtleistung des aus dem angeregten Laserstab austretenden Laserlichtes zu erreichen und dessen Strahlqualität zu verbessern.

[0008] Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den Merk-

malen des Anspruchs 1, insbesondere denen des Kennzeichenteils, und ist demgemäß dadurch gekennzeichnet, daß das von dem Diodenlaser emittierte Pumplicht dem Laserstab im wesentlichen entlang einer Geraden zugeführt wird, die eine Querschnittsfläche des Laserstabes schneidet und von einer Längsmittelachse des Laserstabes beabstandet verläuft.

[0009] Das Prinzip der Erfindung besteht somit im wesentlichen darin, im Unterschied zu dem Stand der Technik, der darauf abzielte, das Laser-Pumplicht dem anzuregenden Laserstab möglichst zentral zuzuführen, nunmehr eine beabsichtigte, nicht zentrale oder dezentrale Anregung durchzuführen. Der Diodenlaser zielt somit nicht mehr auf die zentrale Mittelachse des in der Regel kreiszylindrischen Laserstabes sondern ist bezüglich dieser ursprünglichen Zielrichtung etwas versetzt ausgerichtet. Man kann in diesem Zusammenhang von einem Offset sprechen, wobei der Abstand zwischen der Geraden und der Längsmittelachse des Laserstabes lediglich in der Größenordnung eines oder mehrerer Millimeter liegen kann, um die gewünschten Effekte zu erreichen.

[0010] Der Begriff "Gerade" im Sinne der Erfindung bedeutet dabei nicht, daß sämtliche Pumplichtanteile entlang dieser Geraden, also nahezu unter Ausbildung eines einzigen Strahls, dem Laserstab zugeführt werden, sondern vielmehr, daß es eine Vorzugsrichtung gibt, die nach Art einer optischen Achse eine Symmetrieachse des Pumplichtes ausbildet. Dies kann beispielsweise die Richtung sein, entlang derer die größten Lichtanteile des Pumplichtes dem Laserstab zugeführt werden. Es kann sich auch bei einer über einen größeren Winkelbereich verteilten Pumplichtverteilung um die Mittel- oder Symmetrieachse des Pumplichtes handeln.

[0011] Für den Fall, daß ein Reflektorelement zwischen dem Diodenlaser und dem Laserstab vorgesehen ist, kann die Gerade beispielsweise auch die Längsachse dieses Reflektorelementes sein. In diesem Fall muß nicht der Diodenlaser selbst an der Längsmittelachse des anzuregenden Laserstabes vorbei zielen, sondern es kann auch vorgesehen sein, daß die Funktion der Pumplicht-Ausrichtung entlang der Geraden von dem Reflektorelement übernommen wird. In diesem Fall können das emittierte Pumplicht des Diodenlasers und das Reflektorelement auch unterschiedliche Geraden aufweisen, wobei auch hier die dem Reflektorelement zugeordnete Gerade von hauptsächlichlicher Bedeutung ist.

[0012] Der Begriff "Gerade" schließt in diesem Zusammenhang auch nicht aus, daß das von dem Diodenlaser emittierte Pumplicht dem Laserstab entlang einer kurvenförmigen Bahn zugeführt wird. In diesem Falle wird als Gerade im Sinne der Erfindung diejenige optische Achse, optische Mittelachse oder auch Symmetrieachse bezeichnet, die durch die Austrittsöffnung eines derartigen, kurven- oder bahnförmigen Reflektorelementes verläuft und eine Vorzugsrichtung, beispielsweise im Sinne eines besonders hohen Pumplichtanteils in dieser Richtung für das Pumplicht darstellt.

[0013] In diesem Zusammenhang ist eine Anordnung auch derart vorstellbar, daß das von dem Diodenlaser ausgesandte Licht zwar direkt auf die Längsmittelachse des Laserstabes hingerichtet ist, ein zwischen dem Diodenlaser und dem Laserstab angeordnetes Reflektorelement jedoch mit seiner Längsmittelachse zu diesen beiden Elementen derart versetzt angeordnet ist, daß dem von dem Diodenlaser ausgesandten Licht eine neue Vorzugsrichtung gegeben wird.

[0014] Selbstverständlich sollte die Anordnung derart getroffen werden, daß der Anteil des Pumplichtes, welcher nicht für die Anregung des Laserstabes zur Verfügung steht, der Verlustanteil also, der beispielsweise auf Grund von Re-

flektionen verloren geht, möglichst gering ist. Dies wird einerseits dadurch erreicht, daß der Diodenlaser bzw. eine Austrittsfläche eines Reflektorelementes möglichst unmittelbar nahe an den Laserstab herangebracht wird. Andererseits weist die erfindungsgemäße Anordnung auch den Vorteil auf, daß der beim Stand der Technik auf Grund von Totalreflektion für die Anregung des Laserstabes nicht zur Verfügung stehende Pumplichtanteil nunmehr nahezu auf Null verringert werden kann, da eine Totalreflektion an der Außenmantelfläche des Laserstabes oder gegebenenfalls an einer aus Laserstab umhüllenden Flow-Tube, praktisch vermieden werden kann.

[0015] In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß eine Anordnung beispielsweise derart getroffen werden kann, daß der anzuregende, insbesondere kreiszylindrische Laserstab innerhalb einer Flow-Tube angeordnet sein kann, die auf ihrer Innenseite reflektiv beschichtet ist oder aus reflektivem Material besteht. Zwischen der Außenmantelfläche des Laserstabes und der Innenumfangsfläche der Flow-Tube kann in diesem Fall Kühlflüssigkeit fließen. Die Flow-Tube kann dabei von einem zusätzlichen Reflektor umgeben sein.

[0016] In den Laserstab eintretendes Pumplicht, welches nicht beim erstmaligen Durchqueren des Laserstabes absorbiert wird, steht auf Grund einer Reflektion an der Innenseite der Außenmantelfläche des Laserstabes bzw. an der Innenumfangsfläche der Flow-Tube oder an der Innenumfangsfläche eines optionalen, weiteren Reflektors auf Grund einer erneuten Durchquerung des anzuregenden Laserstabes wiederum zur Anregung zur Verfügung, so daß das von dem Diodenlaser ausgesandte Pumplicht nahezu vollständig zu einer Anregung des Laserstabes führt. In diesem Zusammenhang wird angemerkt, daß es sich dabei um Vielfach-Reflexionen handelt.

[0017] Bei einer alternativen Anordnung befindet sich der Laserstab in einer dafür vorgesehenen Ausnehmung eines Metallgehäuses, und wird durch Kontaktkühlung mittelbar gekühlt. Auch in diesem Fall kann das Pumplicht auf Grund einer Mehrfachreflektion den Laserstab gegebenenfalls mehrmals durchqueren.

[0018] Auf Grund der erfindungsgemäßen, nicht zentralen, sondern absichtlich unter einem Abstand zur Längsmittelachse des Laserstabes stattfindenden Anregung wird die Pumplichtverteilung über die Querschnittsfläche des Laserstabes homogenisiert oder zumindest vergleichmäßigt. Insbesondere die Struktur des von dem Diodenlaser ausgesandten Pumplichtes wird nunmehr nicht mehr auf die Querschnittsfläche des Laserstabes übertragen, so daß eine homogenere Temperaturverteilung entlang der Querschnittsfläche des Laserstabes erreicht wird, was wiederum Abbildungsfehler vermeidet und die Strahlqualität des von dem Laserstrahl ausgesandten Laserlichtes deutlich verbessert. Außerdem wird auf diese Weise die Erhöhung der Laserleistung mit einfachen Mitteln möglich.

[0019] In diesem Zusammenhang ist die erfindungsgemäße Lösung ganz besonders vorteilhaft bei einer Anordnung, die mehrere, in Umfangsrichtung um die Längsachse des Laserstabes angeordnete Diodenlaser aufweist. Während sich beim Stand der Technik sämtliche, von den Diodenlasern ausgehende Geraden in der Längsmittelachse des Laserstabes trafen, wird es erfindungsgemäß möglich, einen einzigen, zentralen Schnittpunkt der Geraden zu vermeiden und in mehrere Schnittpunkte aufzuteilen.

[0020] Gemäß einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung verläuft die Gerade im wesentlichen senkrecht zu der Längsachse des Laserstabes. Diese Ausbildungsform ermöglicht eine besonders vorteilhafte, homogene Anregung des Laserstabes. Außerdem wird auf diese Weise eine be-

sonders einfache Anordnung einer Vielzahl von Diodenlasern nebeneinander, also insbesondere entlang der Längsachse des Laserstabes möglich, wie auch eine derartige Anordnung verteilt in Umfangsrichtung des Laserstabes.

[0021] Besonders vorteilhaft wird diese Anordnung, wenn die Gerade im wesentlichen innerhalb der Ebene der kreisförmigen Querschnittsfläche des Laserstabes verläuft.

[0022] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist der Abstand zwischen der Geraden und der Längsmittelachse einstellbar. Auf diese Weise kann eine Optimierung der Strahlqualität bzw. der Laserleistung des Laserstabes erfolgen. Zugleich kann eine derartige Einstellung des Abstandes, also eines Offsets, durch Vorsehen einer besonderen Verstelleinrichtung denkbar einfach ausgebildet sein. Entscheidend ist, daß der Abstand über einen gewissen Bereich, beispielsweise mit der Genauigkeit von vielleicht einem oder mehreren Zehntel Millimetern über einige wenige Millimeter veränderbar ist. Außerdem sollten die verstellten oder verlagerten Elemente, also beispielsweise das Reflektorelement oder der Diodenlaser selbst, in der eingestellten Position verbleiben bzw. arretiert werden können.

[0023] Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist zwischen dem Diodenlaser und dem Laserstab ein Reflektorelement angeordnet. Ein derartiges Reflektorelement bietet auf besonders einfache Weise die Möglichkeit, das von dem Diodenlaser ausgesandte Licht dem Laserstab entlang der Geraden zuzufügen. Außerdem kann durch eine Einstellung des Reflektorelementes die Richtung der Geraden bzw. der Abstand der Geraden von der Längsmittelachse des Laserstabes auf besonders einfache Weise eingestellt werden.

[0024] In diesem Zusammenhang wird insbesondere hingewiesen auf die parallele Patentanmeldung der Anmelderin vom gleichen Tag (Anwaltsaktenzeichen: 01.17756), deren Inhalt in den Inhalt der vorliegenden Anmeldung eingeschlossen wird. Das in der parallelen Anmeldung beschriebene Reflektorelement löst die Struktur des von dem Diodenlaser ausgesandten Laserlichtes auf und weist eine Eintrittsöffnung mit einem großen Eingangsquerschnitt, insbesondere mit einer besonders großen Eingangshöhe auf, die eine besonders einfache Fertigung bzw. Montage der Anordnung ermöglicht. Im Zusammenhang mit der hier beschriebenen Erfindung kann das in der parallelen Patentanmeldung beschriebene Reflektorelement weiter zur Auflösung der Struktur des Laserlichtes beitragen und eine besonders einfache ausgestaltete Anordnung mit erhöhter Laserleistung bzw. verbesserter Strahlqualität ermöglichen.

[0025] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den nicht zitierten Unteransprüchen sowie an Hand der nun folgenden Beschreibung von den in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispielen der Erfindung. In den Figuren zeigen:

[0026] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Anordnung mit Diodenlaser, Reflektorelement und einem anzuregenden Laserstab,

[0027] Fig. 2 ein Meßdiagramm bezogen auf die Anordnung gemäß Fig. 1, welches die Abhängigkeit der Laserleistung von dem Diodenstrom darstellt,

[0028] Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem der anzuregende Laserstab nicht konzentrisch innerhalb der Flow-Tube angeordnet ist,

[0029] Fig. 4 ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Darstellung gemäß Fig. 1, und

[0030] Fig. 5 eine Draufsicht auf eine erfindungsgemäße Vorrichtung etwa gemäß Ansichtspfeil V in Fig. 1, wobei hier eine Mehrzahl von Diodenlasern entlang der Längsachse des Laserstabes angeordnet ist.

[0031] Von der erfindungsgemäßen Vorrichtung, die in ih-

rer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 10 bezeichnet wird, ist in Fig. 1 lediglich die transversale Pumpgeometrie dargestellt. Von einem Diodenlaser 11 bzw. von dessen aktiver Zone 14 wird Laserlicht zunächst zu einer Optik 15, insbesondere einer Kollimieroptik gesandt. Die Optik 15 ist dabei optional und erleichtert vorliegend nur die Einkopplung des Diodenlaserlichtes in ein Reflektorelement 12, insbesondere durch eine Reduktion eines Divergenzwinkels des von dem Diodenlaser 11 ausgesandten Lichtes.

[0032] Das Diodenlaserlicht tritt nunmehr durch eine Eintrittsöffnung E in das Reflektorelement 12 hinein, welches gemäß Fig. 1 zwei im wesentlichen planparallele Wände 16a und 16b aufweist. Beispielsweise kann es sich hier um im wesentlichen flachliegend ausgestaltete Metallwände oder auch um ein Reflektorelement 12 aus massivem Glas handeln. In letzterem Fall würde das durch das Reflektorelement 12 hindurchtretende Laserlicht eine Totalreflektion an den Innenflächen 17a, 17b des Reflektorelementes 12 durchlaufen. Selbstverständlich kann es sich auch um auf der jeweiligen Innenseite beschichtete, beispielsweise dielektrisch oder metallisch beschichtete Flächen, handeln, so daß eine Mehrfachreflektion des Laserlichtes innerhalb des Reflektorelementes 12 stattfindet.

[0033] Durch eine Austrittsöffnung A wird das Laserlicht nunmehr einem anzuregenden Laserstab 13 zugeführt.

[0034] Bevor auf den Laserstab 13 detailliert eingegangen werden soll, wird angemerkt, daß das Reflektorelement 12 nicht zwingend vorgesehen sein muß. Es ist erfindungsgemäß grundsätzlich auch möglich, das von dem Diodenlaser ausgesandte Licht direkt, ohne die zwischengeschaltete Anordnung eines Reflektorelementes 12, dem Laserstab 13 zuzuführen.

[0035] Der Laserstab 13 ist im wesentlichen kreiszylindrisch ausgebildet und emittiert Laserlicht im wesentlichen entlang seiner Längsachse L, also aus der Papierebene der Fig. 1 heraus. Dieses Licht wird von der Vorrichtung 10 für die Bearbeitung eines Materials verwendet, wobei eine besonders gute Strahlqualität und eine hohe Laserleistung bei der Materialbearbeitung eine wichtige Rolle spielen.

[0036] Der Laserstab 13 befindet sich gemäß Fig. 1 in konzentrischer Anordnung innerhalb einer Flow-Tube 18, welche beispielsweise ein Glasrohr sein kann, das auf seiner Innenfläche 24 beschichtet ist, so daß es für das Pumplicht reflektierend ist. Zwischen der Innenumfangsfläche 24 des Duranrohres 18 und der Außenumfangsfläche 20 des Laserstabes 13 befindet sich ein Ringraum 19, der beispielsweise von einer Kühlflüssigkeit, insbesondere von Wasser, durchflossen werden kann, um den Laserstab 13 zu kühlen.

[0037] Gegebenenfalls kann auch vorgesehen sein, daß die Flow-Tube 18 ihrerseits innerhalb eines weiteren Reflektors 21 angeordnet sein kann (Fig. 3), der eine entsprechende Eintrittsöffnung 22 für den Durchlaß des Pumplichtes umfaßt.

[0038] Beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1 ist das Reflektorelement 12 entlang dem Doppelpfeil x verlagerbar angeordnet. Es handelt sich hierbei um eine mögliche Bewegung des Reflektorelementes 12 relativ zu dem feststehenden Diodenlaser 14 bzw. relativ zu der feststehenden Kollimieroptik 15 sowie relativ zu dem Laserstab 13.

[0039] Alternativ dazu kann selbstverständlich auch vorgesehen sein, daß das Reflektorelement gemeinsam mit dem Diodenlaser 11 relativ zu dem Laserstab 13 verlagerbar ist. Es ist auch möglich, den Diodenlaser 11 relativ zu dem Reflektorelement 12 und relativ zu dem Laserstab 13 verlagerbar anzuordnen. Unter dem Begriff "verlagern" wird dabei im Sinne der Erfindung auch beispielsweise eine Verschwenkung verstanden.

[0040] Das Reflektorelement weist gemäß Fig. 1 eine

Breite B auf, wobei mittig zentral eine Gerade G verläuft. Die Gerade G entspricht somit in diesem einfachen Fall der Längsmittelachse des ca. 20 bis 30 mm langen (Länge I) des Reflektorelementes 12. Typischerweise kann die Breite B des Reflektorelementes 12 einen oder mehrere Millimeter betragen. Der Durchmesser des Laserstabes 13 liegt üblicherweise im Bereich von 3 bis 5 mm.

[0041] Der gemäß Fig. 1 angedeutete Abstand der Längsachse L des Laserstabes 13 zu der bezüglich Fig. 1 unteren Wand 16 des Reflektorelementes 12 (Projektion auf das Reflektorelement 12) wird mit dem Bezugszeichen s bezeichnet.

[0042] Für eine Anregung des Laserstabes 13 gemäß dem Stand der Technik sollte der Abstand s etwa bei der Hälfte der Breite B des Reflektorelementes 12 liegen. Mit anderen Worten: Die Anordnung des Standes der Technik ist derart, daß die Längsmittelachse des Reflektorelementes 12, also die Gerade G, die Längsachse L des Laserstabes 13 schneidet. Erfindungsgemäß ist jedoch eine Verlagerung oder Versetzung derart vorgesehen, daß ein Offset entsteht, die Gerade G die Längsachse L des Laserstabes somit nunmehr nicht mehr schneidet. Es kommt zur Bildung eines Abstands a zwischen der Geraden G und der Längsachse L des Laserstabes 13. Der Abstand a ist gemäß Fig. 1 verhältnismäßig gering, ist jedoch an Hand der Fig. 3 und 4 deutlicher sichtbar.

[0043] Im folgenden soll an Hand der Fig. 1 und 2 erläutert werden, wie durch Einstellung des Abstandes a zwischen der Geraden G und der Längsachse des Laserstabes 13 auf sehr einfache Weise eine erhöhte Laserausgangsleistung erreicht werden kann.

[0044] Fig. 2 zeigt die Meßergebnisse einer Messung der Ausgangsleistung des von dem Laserstab 13 ausgehenden Laserlichtes in Watt (W) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Diodenströmen des Diodenlasers 11 in Ampere (A). Gemessen wurde dabei mit einer Anordnung, die ein als Glasplatte ausgebildetes Reflektorelement 12, mit einer Breite B von 2 mm aufweist. Es handelt sich dabei grundsätzlich um eine Anordnung gemäß Fig. 1, bei der zusätzlich noch ein die Flow-Tube 18 umgebender Reflektor 21 gemäß Fig. 3 vorgesehen war, der aus einem keramischen Werkstoff besteht.

[0045] Die Länge I des Reflektorelementes 12 betrug bei dem Versuch ca. 215 mm.

[0046] Gemessen wurden drei Kurven  $K_0$ ,  $K_1$  und  $K_2$ , wobei die Abstände zwischen der Geraden G und der Längsachse L des Laserstabes 13 variiert wurden. Die Kurve  $K_0$  entspricht einem Abstand a von 0 mm, so daß in diesem Fall die Gerade G die Längsachse L schneidet. Es handelt sich also um eine Anordnung des Standes der Technik. Die Kurve  $K_1$  entspricht einem Abstand a von 1 mm, so daß ein Versatz zwischen der Gerade G und der Längsachse L des Laserstabes 13 auftritt und die Gerade G die Längsachse L nicht mehr schneidet. Die Kurve  $K_2$  in Fig. 2 beschreibt eine Messung, bei der der Abstand a etwa 2 mm betrug.

[0047] Wie sich aus den Kurvenvergleichen gemäß Fig. 2 ergibt, ist bei verhältnismäßig geringen Diodenstromstärken bis etwa 25 A kaum ein Unterschied festzustellen. Bis zu einer Diodenstromstärke von ca. 40 A verlaufen die Kurven  $K_1$  und  $K_2$  noch nahezu gleich. Bei Diodenströmen größer als 40 A können durch Wahl eines Abstandes a von 1 mm jedoch bei gleichen Diodenströmen höhere Laserleistungen erreicht werden.

[0048] So beträgt die gemessene Laserleistung bei einem Diodenstrom von 60 A bei einem Abstand a von 0 mm 28,22 W, bei einem Abstand a von 1 mm 30,6 W und bei einem Abstand a von 2 mm 27,75 W. Durch Einstellung eines Abstandes a von 1 mm wird somit eine Leistungsverbesserung

rung von nahezu 10% ermöglicht.

[0049] Außerdem ist hieraus bereits ersichtlich, daß ein Optimalwert des Abstandes  $a$  einstellbar ist, der eine maximale Laserleistung des Laserstabes 13 ermöglicht.

[0050] Darüber hinaus wurde bei einem Experiment gemäß Fig. 2 auch eine Beobachtung der Modenverteilungen vorgenommen. Bei einem Abstand von  $a = 0$  mm erscheint die Modenverteilung leicht oval. Es kommt zu einer unsymmetrischen Maximaverteilung.

[0051] Bei einem Abstand  $a$  von 2 mm erscheint die Modenverteilung rund, wobei sich die Leistungsmaxima jedoch nicht in der Mitte der Verteilung befinden. Die für eine gute Strahlqualität optimale Modenverteilung ergibt sich bei einem Abstand  $a = 1$  mm, da hier zwar eine etwas unrunde, doch symmetrische Modenverteilung auftritt.

[0052] Diese Experiment dokumentiert bereits deutlich, daß durch Einstellung eines Abstandes  $a$  zwischen der Geraden  $G$  und der Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 eine größere Laserleistung erreichbar ist und die Strahlqualität des von dem Laserstab 13 ausgesandten Laserstrahls verbessert wird. Diese Verbesserung ist mit einfachen Mitteln möglich, ohne daß grundsätzliche, aufwendige Veränderungen an der Vorrichtung 10 vorgenommen werden müssen.

[0053] Das durchgeführte Experiment dokumentiert darüber hinaus, daß es einen Optimalwert für den Abstand  $a$  der Geraden  $G$  und der Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 gibt. Dieser Optimalwert kann erfindungsgemäß auf verhältnismäßig einfache Weise durch Messung bestimmt werden.

[0054] Selbstverständlich hängen die dabei jeweils ermittelten Daten u. a. von dem Durchmesser des Laserstabes 13, der Art der verwendeten Materialien des Reflektorelementes 20 und dem Laserstab 13 sowie der Flow-Tube 18 und des gegebenenfalls zusätzlich verwendeten Reflektors 21 sowie von der Geometrie der einzelnen Bauteile ab. Entscheidend ist hier jedoch, daß eine dezentrale Anregung des Laserstabes 13 vorgenommen wird, wodurch eine Homogenisierung erreicht werden kann.

[0055] Selbstverständlich ist es darüber hinaus auch möglich, daß die Einstellung des Abstandes  $a$  zwischen der Geraden  $G$  und der Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 noch genauer vorgenommen werden kann, beispielsweise auf einen Zehntel Millimeter genau. Hierzu können beispielsweise einfache Justiermittel vorgesehen sein.

[0056] Fig. 3 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei der die Anordnung von Diodenlaser 11 und Reflektorelement 12 analog zu der Anordnung gemäß Fig. 1 gewählt ist. Hier besteht die Besonderheit darin, daß der Laserstab 13 innerhalb der Flow-Tube 18 nicht konzentrisch angeordnet ist, die Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 somit mit der Mittellängsachse  $F$  der im wesentlichen kreiszylindrischen Flow-Tube 18 nicht zusammenfällt.

[0057] Die Gerade  $G$  schneidet hier die Mittel-Längsachse  $F$  der Flow-Tube 18, so daß es wiederum zu einer nicht-zentrischen Anregung des Laserstabes 13 kommt und zwischen der Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 und der Geraden  $G$  mit hin ein Abstand  $a$  verbleibt.

[0058] Fig. 4 stellt im wesentlichen eine Anordnung gemäß Fig. 1 dar, wobei verdeutlicht werden soll, daß auch durch die Einstellung eines Winkels  $\beta$  zwischen einer Mittelebene  $M$  des Laserstabes und der Geraden  $G$  eine Einstellung des Abstandes  $a$  zwischen der Geraden  $G$  und der Längsachse  $L$  möglich ist. Als Mittelebene  $M$  des Laserstabes 13 wird eine solche Ebene verstanden, die bei einem Mittellängsschnitt des Laserstabes 13 entlang der Längsachse  $L$  in zwei gleiche Teile die Schnittebene darstellt.

[0059] Beispielsweise kann die Einstellung des Winkels  $\beta$  zur Veränderung des Abstandes  $a$  durch Schwenken von Diodenlaser 11 und Reflektorelement 12 gemeinsam um

eine Achse 25 herum vorgenommen werden, die im Bereich des Diodenlasers 11 liegt. Alternativ kann es sich auch um eine Achse 26 handeln, um die herum die gesamte Anordnung, also der Diodenlaser 11 und das Reflektorelement 12 gemeinsam, verschwenkt werden und die sich im Bereich des Reflektorelementes 12 befindet.

[0060] Fig. 5 soll lediglich verdeutlichen, daß eine Mehrzahl von Diodenlasern 11a, 11b, 11c neben- oder hintereinander entlang der Längsachse  $L$  angeordnet sein können und gemeinsam durch ein Reflektorelement 12 hindurch dem Laserstab 13 das Pumplicht entlang einer Geraden  $G$  zuführen, die die Längsachse  $L$  des Laserstabes 13 nicht schneidet.

[0061] Selbstverständlich ist es auch möglich, Stapel (stacks) von Diodenlaserbarren vorzusehen, die gemeinsam in ein Reflektorelement 12 Pumplaserlicht einspeisen und dieses dem Laserstab 13 zuführen.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung (10) zur Bearbeitung, insbesondere zur Gravur, Markierung oder Beschriftung, eines Material mittels eines Lasers, bei der ein Festkörper-Laserstab (13) unter Bereitstellung einer transversalen Pumpgeometrie von wenigstens einem Diodenlaser (11) optisch angeregt wird, dadurch gekennzeichnet, daß das von dem Diodenlaser (11) ermittelte Pumplicht dem Laserstab (13) im wesentlichen entlang einer Geraden ( $G$ ) zugeführt wird, die eine Querschnittsfläche des Laserstabes (13) schneidet und von einer Längsmittelachse ( $L$ ) des Laserstabes (13) beabstandet verläuft.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Gerade ( $G$ ) im wesentlichen senkrecht zu der Längsachse ( $L$ ) des Laserstabes (13) verläuft.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand ( $a$ ) zwischen der Geraden ( $G$ ) und der Längsmittelachse ( $L$ ) einstellbar ist.
4. Vorrichtung nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Diodenlaser (11) und dem Laserstab (13) ein Reflektorelement (12) angeordnet ist.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement (12) die Struktur des von dem Diodenlaser (11) ausgesandten Lichtes auflöst.
6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement (12) eine einen großen Eingangsquerschnitt aufweisende Eintrittsöffnung ( $E$ ) besitzt.
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Längsachse des Reflektorelementes (12) mit der Geraden ( $G$ ) zusammenfällt.
8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur Einstellung des Abstandes ( $a$ ) zwischen der Geraden ( $G$ ) und der Längsachse ( $L$ ) das Reflektorelement (12) verlagerbar angeordnet ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement (12) relativ zu dem Laserstab (13) und/oder relativ zu dem Diodenlaser (11) verlagerbar ist.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Eintrittsöffnung ( $E$ ) des Reflektorelementes (12) eine Eintrittshöhe ( $e$ ) von mehr als 1 mm aufweist.
11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement

(12) eine Länge von 10 bis 100 mm aufweist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement (12) den Divergenzwinkel des von dem Diodenlaser (11) ausgesandten Lichtes reduziert.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 4 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Reflektorelement (12) als gesonderter, von einem Gehäuse des Laserstabes (13) separater Körper ausgebildet ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG.1

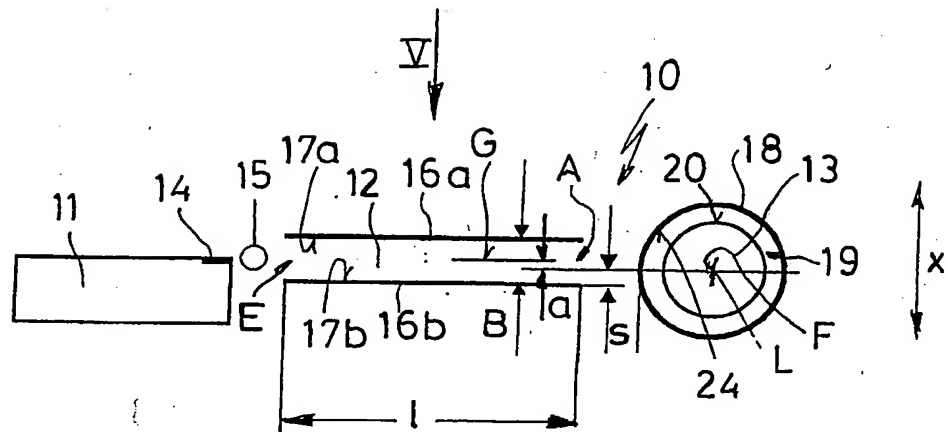


FIG.2

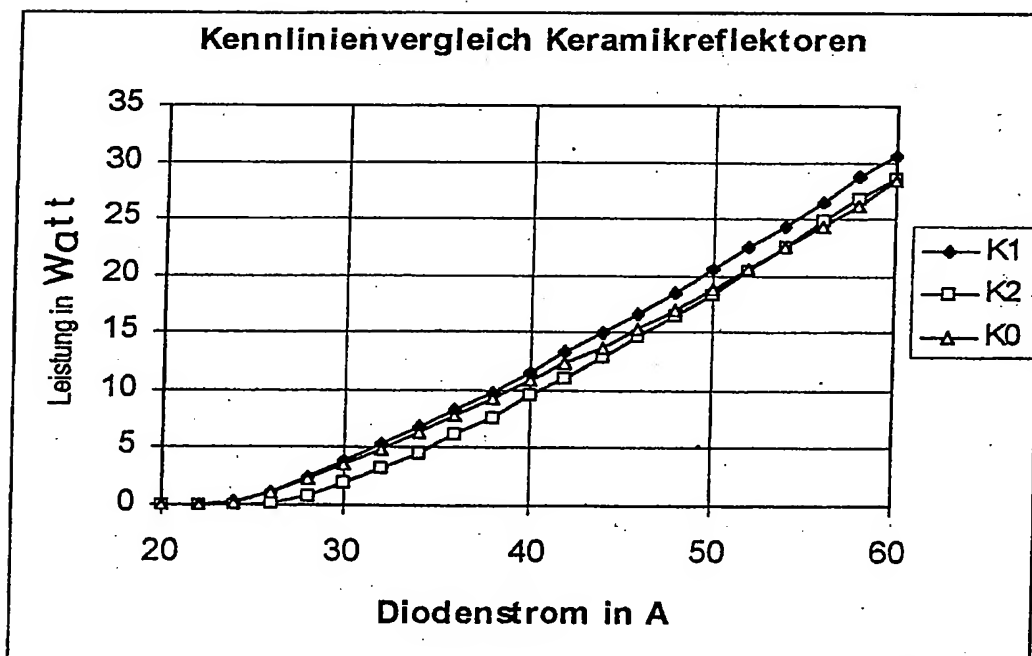




FIG. 3

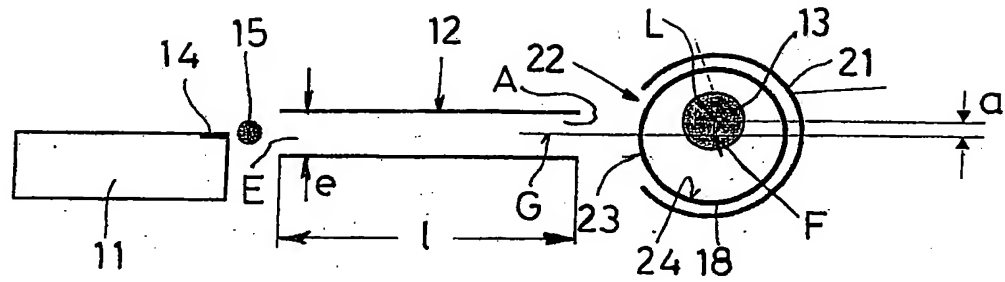
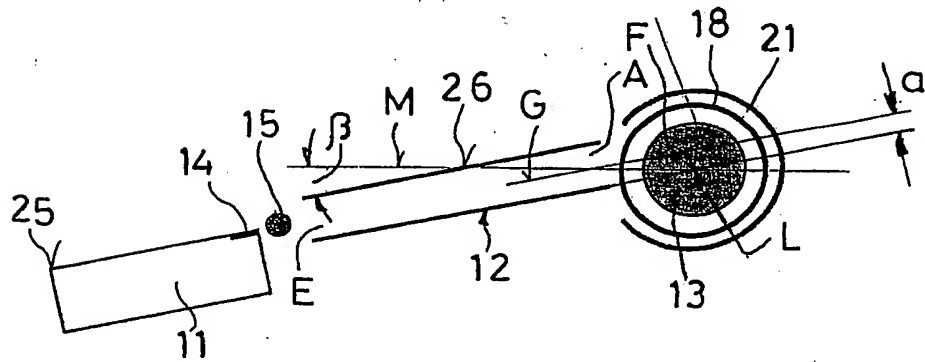


FIG. 4



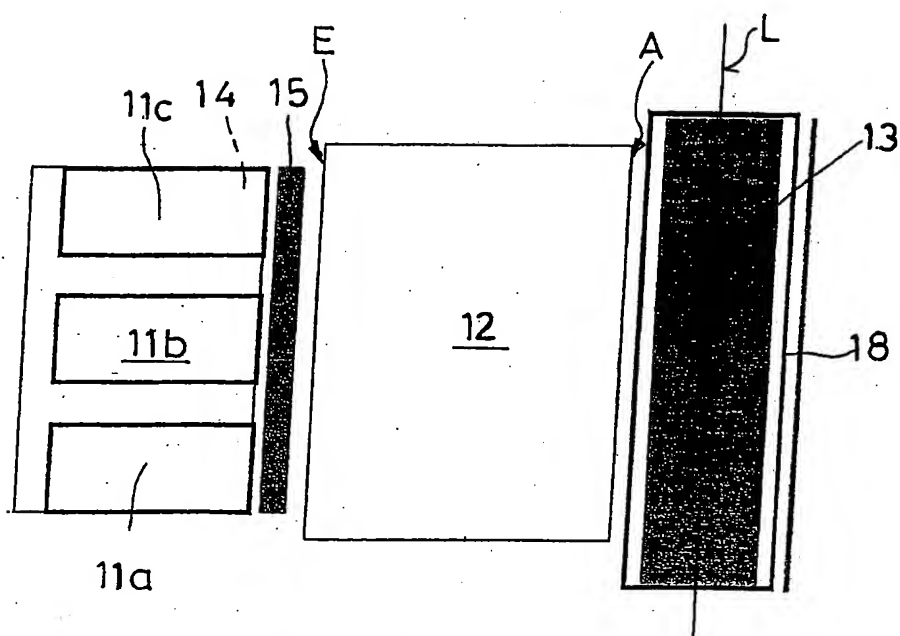


FIG. 5